

氏名	橋本隆雄
生年月日	
本籍	茨城県
学位の種類	博士(工学)
学位記番号	博甲第446号
学位授与の日付	平成13年9月28日
学位授与の要件	課程博士(学位規則第4条第1項)
学位授与の題目	中・大地震に対応する宅地防災対策に関する研究
論文審査委員(主査)	宮島 昌克(工学部・教授)
論文審査委員(副査)	北浦 勝(自然科学研究科・教授) 川上 光彦(工学部・教授) 近田 康夫(自然科学研究科・助教授) 沖村 孝(神戸大学都市安全研究センター・教授)

学位論文要旨

ABSTRACT

Recent earthquake disasters have proved to cause severe damages to residential areas and the landscape in the surroundings. In the *Revised Manual for Residential Land in Disaster Mitigation (in Japanese)* of March 1993 completed by the author, disaster prevention design policies for large and medium earthquakes has been outlined for the first time, this manual based on the lessons learned from Hanshin Earthquake of 1995. These disaster policies have been subject to on going research over a long period, however, without much emphasis on the difference between large and medium scale earthquakes. In the case of large scale earthquakes, retaining walls of residential areas collapse severely, along with great degree of damages in embankments, land slides and slope failures. Further, regarding the analysis method of embankments in such disasters, the results derived from conventional methods deviate from the actual values, thus it is necessary to adopt analytical methods that consider functional limitations meantime being economically justifiable as well. Therefore, in order to minimize the damages to residential areas, making these afore-mentioned aspects clear certainly is reckoned indispensable, as far as disaster prevention design against earthquakes is concerned.

With such a background, in this dissertation, having made additions to *Revised Manual for Residential Land in Disaster Mitigation (in Japanese)* in terms of embankments and foundation soils of residential areas, policies for refurbishment and upgrading of residential retaining walls have been proposed. Also, proposing the computerization of technical information on assessment criteria given in the *Manual for Estimation of Risk in Residential Lands during Disasters (in Japanese)* also published by the author, improvements to this criteria based on its application

in ascertaining the damage occurred during the earthquake of Tottori Prefecture have been proposed. These proposed improvements serve the function of damage evaluation and the extent of aging of residential structures. Further, with Tottori earthquake and other past failure cases of residential embankments as real world examples, an empirical analysis has been conducted, for determining the suitability of actual design procedures through comparison of results obtained. In addition, the study proposes the design requirements for anti-earthquake city planning for snowy regions, having determined the relation between snow and earthquakes.

近年の地震災害では、造成された宅地において、地震動による宅地の被害が建築物等の被害を大きくし、宅地地盤の崩壊が造成区域の周辺部へも被害を与えるなど、宅地の被害が顕著になってきている。たとえば、1968年十勝沖地震、1978年宮城県沖地震では、沢地などの集水地形を盛土して造成された宅地がすべり破壊などを生じ、住宅に大きな被害を与えた。また、1995年兵庫県南部地震では、六甲山系の麓に造成された宅地を中心に自然がけや切土斜面の崩壊並びに宅地擁壁・宅地地盤などの変状、崩壊などの大規模な被害を受けた。

このように、地震時における宅地の被害が顕著になってきた背景には、近年の都市化の進展に伴い、従来宅地として利用されてこなかった谷底低地や埋立地、あるいは山麓の斜面などの開発が急速に進み、地震時に不安定な宅地が増えてきたためであると考えられる。しかしながら、宅地盛土のような土構造物に関する耐震性については未だ技術的に解明されていない部分が多く、その設計法については確立されていない面もある。そんな中で、現在、耐震設計法として採用されているのは、震度法による円弧すべり法などの極限釣合安定解析法ですべり安全率を計算し、所要の安全率を確保するよう設計するというものである。一方、兵庫県南部地震以降大地震動（レベル2地震動）のような高地震力に対する耐震設計が求められつつある。このような極限釣合解析法をレベル2地震動の耐震設計に適用しては土構造物が成立し得なくなるのは必至であり、土構造物の特長を生かした耐震設計法の開発が重要となってきている。

一般的に、宅地の耐震設計手法として用いられているのは擁壁と盛土のり面に関しては震度法である。地盤条件が複雑であるなどの場合には、必要に応じて動的解析手法を用いた検討が行われる。したがって、それらを明らかにすることは、より現実的で経済的な性能評価でき、被害を軽減することに貢献できると考えられる。

このような観点から本論文では、まず、宅地の地震被害復旧対策における仮復旧、復旧のための調査、本復旧対策さらに補修・補強対策のシステム化を提案する。次に、宅地の地震被害調査システムを取り上げ、その提案の背景、その後の現状と課題点を挙げ、今後のあり方及び耐震診断システムの提案を行う。宅地盛土のり面については、過去の地震被害事例による検証を行い、鳥取県法勝中学校及び実際の設計事例での動的解析により、残留変形解析の取扱い方とその妥当性について検討を行った。さらに、積雪を考慮した耐震対策の提案と防災まちづくりのための整備水準レベルの提案を行った。なお、本論文は8章かで構成されており、各章の概要と得られた結論は以下の通りである。

第1章では、宅地防災の現状を紹介し、それを背景とした本研究の目的と概要について述べた。また、本研究を紹介するとともに、それに対する本研究の位置づけについて言及した。

第2章では、既往の文献から中・大地震宅地被害の相違点を明らかにした。まず、著者らは、二木・田村らの委員会で提案し採用された「改訂 宅地防災マニュアル」では、中・大地震について以下のように定義している。

- ①「中地震」：宅地または当該宅地を敷地とする建築物の供用期間中に1～2度程度発生する確率を持つ一般的な地震動で、宅地の機能に重大な支障が生じない（地震発生後、通常の維持・管理の範疇を上回る補強工事や改築工事等の対策を要しない）ことを耐震対策の基本目標としており、一般に震度5程度の地震を想定している。
- ②「大地震」：発生確率は低いが直下型または海溝形巨大地震に起因するさらに高レベルの地震動で人命に重大な影響を与えない（宅地自体にある程度の被害が発生することは許容するが、宅地としての機能が失われ、崩壊や倒壊等により直接人命に危害を与えない）ことを耐震対策の基本的な目標とし、一般に震度6～7程度の地震を想定している。

地震に伴う建築物等の被害は、古くから多くの文献に記録されている。地震に伴う地盤そのものの被害や土地と一体化した宅地擁壁などの施設の被害については、古来より建築物等の被害と一体として記録・統計処理されてきたことなどから、宅地被害として記録されている例は少ない。しかしながら、近年の地震災害では、宅地開発において、地震動による宅地の被害が建築物等の被害を大きくし、宅地の崩壊が造成区域の周辺部へも被害を与える等、その被害が顕著になってきている。そこで宅地被害について過去の文献・資料を収集し、代表的な被害事例を抽出する方法で中地震と大地震に分類した。また、これらの被害形態と特徴の比較を行い宅地擁壁・のり面・地盤の調査から設計に至る相違点を分析した。もって大地震時の防災対策に反映させ、危険度判定を一步進めた宅地擁壁診断システムの構築、及び宅地盛土のり面の残留変形解析の適用性を明らかにした。

第3章では、宅地擁壁に宅地のり面・地盤を加え、また新たに兵庫県南部地震の実績から得られた宅地として初めて採用された補強土工法等を取り入れ体系化してこれらを宅地擁壁の補修・補強対策指針として構築したことについて言及した。まず、大地震に分類される兵庫県南部地震では、約5,000箇所宅地擁壁が倒壊、沈下、滑動、はらみ出し、クラック等の大被害を受けた。その直後、宅地擁壁の復旧対策指針を早急に作成するため、著者らが建設省の指導のもと、沖村・二木らの委員会で現地の実態踏査に基づく数々の対応策を提案したところ採用され、建設省建設経済局民間宅地指導室監修、「宅地擁壁復旧技術マニュアルの解説」（1995年8月）として策定され実用化に至った。この復旧指針は、実際に建設省災害関連緊急傾斜地崩壊対策事業で、様々な宅地擁壁タイプごとに被害程度に応じて復旧現場で採用された。また、中地震である鳥取県西部地震、芸予地震でもこの復旧指針が活用されている。宅地の震災復旧、補修・補強対策は、中・大地震に関わらず大地震の宅地擁壁の変状状況に応じた

ものであれば対応できることが明らかとなった。

しかし、その内容は宅地擁壁を対象としたもので、宅地のり面、宅地地盤の記載がなかったためこれらを含めた宅地全体を対象としたものに改める必要が生じた。また、実際の復旧に際して補強土工法を仮設工法対策としていた理由は、住宅密集地内での民間の用地境界条件、支持地盤が軟弱な地盤条件、施工作業スペースが非常に狭い等の施工条件から従来宅地では認められなかった補強土工法を採用せざるを得ない箇所が多数存在したにもかかわらず、その耐久性、維持管理が保証できなかったからである。

第4章では、「被災宅地危険度判定士」制度の指針として採用された宅地擁壁変状調査の現状と今後の大地震に活用できる情報処理技術まで総合的な宅地擁壁被害調査システムの構築を提案した。また、全国にある宅地擁壁の老朽化実態を明らかにし、今後の地震前の老朽化危険度を判定するための被災宅地擁壁危険度判定票となる宅地擁壁耐震診断システムの提案を行った。

兵庫県南部地震では、約5,000箇所の宅地擁壁が倒壊、沈下、滑動、はらみ出し、クラック等の大被害を受けた。その後、宅地擁壁、宅地のり面、宅地地盤の被害状況を正確に把握し、現場で危険度を評価できないため、著者らは、建設省指導のもと地方公共団体の協力を得て、二木らの委員会、現地の実態踏査に基づく数々の「被災宅地危険度判定票」を含めた大地震時に対応できる実践的な対応策を提案し採用され、「被災宅地危険度判定士」の「被災宅地の調査・危険度判定マニュアル」（1998年2月被災宅地危険度判定連絡協議会）として実用化に至った。鳥取県西部地震では、被災宅地危険度判定士が初めて宅地危険度判定票を用いて被害調査を行った。この危険度判定票は、大地震の際に用いられているものを、中地震でそのまま採用した。その結果を踏まえて今後の判定票の特徴と課題を抽出し、見直しの際に役立てるための知見を得た。

さらに、兵庫県南部地震の宅地擁壁被害のうち、全壊・上部半壊といった被害程度が甚大な擁壁は、沖村・二木らの研究によると宅地造成等規制法が施行される以前から設置されている老朽化したものが圧倒的多数を占めていることが明らかとなった。また、芸予地震では、呉市の老朽化した宅地擁壁の被害が顕著となり、大きな社会問題ともなっている。しかし、この既存宅地擁壁等の老朽化危険度を判定する耐震診断はまだ作成されていないため、危険な状態で維持管理ができずにいる宅地擁壁の耐震化が中・大地震時の被害を軽減・防止するうえできわめて重要となっている。

第5章では、まず宅地盛土のり面の過去の地震被害事例分析及び鳥取県西部地震で変状を生じた法勝寺中学校の宅地盛土のり面を対象とした残留変形解析を行い検証した。次に、設計における適用の妥当性を探るため、施工後約3年経過した宅地造成盛土事例に対して地盤改良前後における残留変形解析を行い、結果の比較よりその適用性について検討を行った。また、盛土のり面の残留変形解析では、設計の際の簡易かつ汎用性のある円弧すべり法、ニューマーク法、FLUSHを用いた2次元FEM解析のそれぞれによる残留変形量と実際の残留変形量との比較検討を行い、それらの妥当性を検証した。

現在の宅地盛土のり面における耐震設計は、「改定 宅地防災マニュアル」において設計水平震度を中地震時に $K_h=0.20$ 、大地震時に $K_h=0.25$ を用いることとしている。大地震時において震度法を適用することは、膨大な地盤改良等が必要となる。沖村らによると、兵庫県南部地震においても崩壊に至らずに残留変形解析に留まっているとの報告がある。また、経済性や性能設計の観点から実際の盛土挙動と一致する残留変形解析手法を用いた地震安定性評価が重要課題となり、この研究・実験等が進められている。一方、実際の設計では、これまで震度法が適用されていたことから、汎用性を考慮した簡易なニューマーク法及びFEM応答解析等を用いた残留変形解析が望まれている。しかし、こうした解析の適用に当たっては、地震時の挙動や震度法と応答解析結果の相互の関係について未だ十分に解明されていない。

第6章では、積雪期地震における宅地防災の現状と課題点を過去の被災事例とアンケート調査から抽出し、宅地のり面や擁壁の耐震対策の新たな提案を行った。さらに、宅地開発に際して、大地震を考慮する以前に積雪と中地震の組合せについて十分に考慮されていない現状を明らかにし、今後、大地震についても検討する必要があることを指摘した。

積雪期に地震が発生した場合は、詳細な宅地地盤の被害状況の確認が非常に困難となり、復旧作業が遅延するなどの障害がある。また、発生直後に応急措置が取れないため余震・風雨災害による2災害の恐れがあり、その後の復旧費用が増大し、さらに、ライフラインが寸断され、生活環境への影響も大きくなることが予想される。兵庫県南部地震では、宅地地盤被害が顕著で地盤沈下や隆起、湧水が確認される等、宅地地盤関連災害が随所で見られ、地盤の耐震性を高めるため「改定 宅地防災マニュアル」が作成された。しかし、積雪寒冷期（通常は11月下旬～4月上旬）を視野に入れた基準づくりや雪と寒さが地盤に及ぼす影響については記載されていない。

第7章では、中・大地震の重要度に応じた具体的な防災まちづくり整備水準レベルをモデルケーススタディによって検証した。兵庫県南部地震では、造成宅地が大規模な被害を受け、「宅地防災マニュアル」等の見直しが行われてきた。しかし、これまでの研究では重要度に応じた優先的な整備水準の確立の立ち遅れが指摘されている。すなわち、まちづくりにおいては道路・河川と異なり、面的な広がりを持ち、中・大地震の重要度の設定が非常に難しい。現在、それら中・大地震に対応した設計の考え方が導入されているが、何処に、どの程度のものを設けたらよいのか明確な指導が示されていない。そこで、防災まちづくり整備水準を「常時（レベル0）」「中地震時対応（レベル1）」「大地震時対応（レベル2）」の3段階に設定し、さらに各整備水準の内訳項目を土地利用、道路、公園、造成宅地、供給処理施設、地区計画等に分類して耐震対策に役立てることを提案した。ここでは上記のうち特に土地利用計画、道路計画、公園緑地計画に的を絞って、その具体的な整備方針を明らかにした。また、その整備水準の具体的なケーススタディとしてC地区を取り上げ、その妥当性を検証した。最後に、ニュータウンを中心とした周辺防災拠点整備手法について検討を行った。

第8章では、本研究で得られた結論を要約するとともに今後の課題について言及した。

学位論文審査結果の要旨

本学位論文に関し、平成13年8月6日に第1回審査委員会を開催し、審査方針を決定するとともに、論文の内容について検討した。さらに、8月8日に行われた口頭発表の後に第2回審査委員会を開き、面接による最終試験を行い、慎重に審議した結果、以下のように判定した。

本論文は、これまで斜面崩壊としては土木工学の分野で、建物被害としては建築学の分野でそれぞれ別個に取り扱われていた宅地災害を総合的に研究し、宅地防災という新しい分野を切り開いたものである。1995年兵庫県南部地震以降、従来の耐震設計法の見直しが精力的に行われてきたが、本論文では宅地の耐震設計法の確立を目指して、過去の被災事例の分析、大地震に対するのり面の地震時残留変形解析手法の検討などを行い、多くの有用な知見を得ている。また、具体的な耐震復旧対策、補修・補強対策を提案するとともに、被害調査システムと耐震診断システムを構築している。本調査システムは既に実用に供され、2000年鳥取県西部地震と2001年芸予地震で用いられたので、その結果について検討し、今後の課題を明らかにしている。さらに、宅地防災を耐震設計といういわゆるハードからの取り組みばかりではなく、防災まちづくりという計画論的視点のソフトからのアプローチも展開し、新たな提案を行っており、独創性が認められる。

以上の研究成果は、宅地の地震防災力向上に大いに貢献しており、工学的価値が大きいと認められることから、本審査委員会は本論文が博士（工学）に値すると判定した。